



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

# **ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO SOB MACAUBEIRAS ASSOCIADAS À PASTAGEM NO CERRADO GOIANO**

**DOUGLAS EDMILSON SILVA  
LEANDRO COSTA LIMA**

**BRASÍLIA/DF  
OUTUBRO/2012**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

# **ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO SOB MACAUBEIRAS ASSOCIADAS À PASTAGEM NO CERRADO GOIANO**

**DOUGLAS EDMILSON SILVA**  
**LEANDRO COSTA LIMA**

**ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. MS. LÍDIA TARCHETTI DINIZ**

**BRASÍLIA/DF**  
**OUTUBRO/2012**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO SOB MACAUBEIRAS  
ASSOCIADAS À PASTAGEM NO CERRADO GOIANO**

**DOUGLAS EDMILSON SILVA**  
**LEANDRO COSTA LIMA**

**PROJETO FINAL DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO SUBMETIDO À FACULDADE  
DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA,  
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE  
ENGENHEIRO AGRÔNOMO.**

**APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM \_\_\_\_/\_\_\_\_-\_\_\_\_.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof<sup>a</sup>. Lídia Tarchetti Diniz, Eng<sup>a</sup>. Agrônoma MS.,  
FAV-UnB – Orientadora**

---

**Prof. Sérgio Lúcio Salomon Cabral Filho, Zootecnista, Dr,  
FAV-UnB – Examinador interno**

---

**Juliana Hiromi Sato, Eng<sup>a</sup> Agrônoma  
Examinadora externa**

---

**Augusto Andrade Reis Mota, Eng<sup>o</sup> Agrônomo  
Examinadora externa**

**BRASÍLIA/DF, OUTUBRO de 2012.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

<p>SILVA, DOUGLAS EDMILSON &amp; LIMA, LEANDRO COSTA. Atributos microbiológicos de um solo sob macaubeiras associadas à pastagem no Cerrado goiano. Brasília, 2012. Orientação de Lídia Tarchetti Diniz. Trabalho de Conclusão de Curso de Agronomia – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. 41 p.: .</p>
---

### **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

**SILVA, D. E. & LIMA, L. C.** Atributos microbiológicos de um solo sob macaubeiras associadas à pastagem no Cerrado goiano. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília; Monografia de Conclusão de Curso. 2012, 41p.

### **CESSÃO DE DIREITOS**

Nome dos autores: Douglas Edmilson Silva & Leandro Costa Lima

Título do trabalho de conclusão de curso (Graduação): Atributos microbiológicos de um solo sob macaubeiras associadas à pastagem no Cerrado goiano. Grau: Engenheiro Agrônomo Ano: 2012.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos.

---

**Douglas Edmilson Silva**

**R.G.: MG 13.199-095**

**E-mail: dougposter@gmail.com**

---

**Leandro Costa Lima**

**R.G.: 2.373-210**

**E-mail: leandroclima@hotmail.com**

**BRASÍLIA/DF, OUTUBRO de 2012.**

## AGRADECIMENTOS

*A nossa orientadora Lúdia por ter aceitado nos orientar, e pelo carinho e dedicação com que o fez, pela paciência para conosco.*

*A Agropecuária Santa Fé por ceder o espaço para realização do estudo.*

*A Embrapa Cerrados - CPAC.*

*Ao Laboratório de Bioquímica do solo FAV-UnB*

*Eu Douglas agradeço:*

*A Deus sem o qual nada é possível.*

*Aos meus Pais João e Eva, pelo apoio incondicional e o amor com que me criaram.*

*A minha irmã Dalila e toda a minha família, por sempre acreditarem em mim.*

*Aos meus Tios Ezequiel e Edna pelo apoio quando vim a Brasília.*

*A minha namorada Renata pelo amor e todos os momentos que vivemos e ainda viveremos, e a sua família.*

*Aos meus amigos da Agronomia, Leandro, João Paulo, Rodnei, Adriene, Adriano, Antônio Nelson, Augusto, Carlos Roberto, João Gilberto, Bruno, Bernardo, Aureliano, Caio, Raissa, Franque, Henrique Turra, Mariana, Alessandra, Matheus Costa, Ricardo Cabral, Marcos túlio, Gustavo, Ana Gláucia, Pedro Bruno, Fabiano, Guilherme Firmino, Guilherme Rennó, Olivía, Lucas Côrtes.*

*Aos meus amigos da Casa do Estudante pelos melhores anos em Brasília, George Henrique, Fábio, Leonardo, Leonardo Guilherme, Sabrina, Éder, Joel, Adriano (in memoriam), Adriano César, Ewerton.*

*Aos meus amigos de longa data Ezequiel, Artur, Pedro.*

*Eu Leandro agradeço:*

*Aos meus pais Maura, Mônica e João Luís, pelo apoio e estrutura familiar, além do amor e da amizade.*

*Aos meus irmãos Mariana e Vinicius por estarem sempre comigo.*

*Ao meu grande amigo Adolfo Pinheiro que foi um determinante na minha decisão de cursar Engenharia Agrônômica na UnB.*

*Ao meu amigo Gustavo Moura e meus primos, especialmente Hugo Grillo.*

*Aos meus amigos da Agronomia P.O., Joãozinho, Gutão, Maneiro, Peixe, Guilhermão, Rodnei, Antônio Nelson, João Gilberto, Bruno, Aureliano, Caiopa s2, Rah, Franque, Henrique Turra, Mariana, Matheus Costa, Ricardo Cabral, Marcos Túlio, Ana Gláucia, Pedro Bruno, Fabiano, Guinú, Olivia.*

*Um agradecimento especial e com muito carinho a Adriene Melo, por ter me ajudado com todos os trabalhos feitos, e por todo amor que me destes.*

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1.CERRADO.....	2
2.1.1. Aspectos Gerais.....	2
2.1.2. Agropecuária no Cerrado .....	3
2.1.3. Uso Sustentável do Solo.....	3
2.2. MACAÚBA (Acrocomia aculeata) .....	6
2.3 QUALIDADE DE SOLO.....	9
2.3.1.Indicadores de Qualidade do Solo.....	10
2.3.1.1.Químicos .....	10
2.3.1.1.1.Matéria orgânica do Solo (MOS) .....	11
2.3.1.1.2.Relação entre Carbono e Nitrogênio (C:N) .....	12
2.3.1.1.3.Nitrogênio Total (NT) .....	12
2.3.1.2.Microbiológicos .....	13
2.3.1.2.1.Carbono Microbiano (Cmic) .....	14
2.3.1.2.3.Índices Microbiológicos .....	15
2.3.1.2.3.1.Quociente Metabólico (qCO <sub>2</sub> ) .....	15
2.3.1.2.3.2.Quociente Microbiano (qMic).....	17
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18
4. ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO SOB MACAUBEIRAS ASSOCIADAS À PASTAGEM NO CERRADO GOIANO .....	24
4.1. RESUMO .....	24
4.2. INTRODUÇÃO .....	24
4.3. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
4.3.1. Caracterização da área de estudo e amostragem .....	26
4.3.2. Métodos Analíticos .....	27
4.3.3. Análises Estatísticas .....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
6. CONCLUSÕES.....	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. Valores de F da análise de variância para carbono microbiano (Cmic); respiração basal (RB); quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e microbiano (qMic); matéria orgânica (MO), nitrogênio total (NT) e relação C:N, em três profundidades (0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm), e a diferentes distâncias em relação ao caule de macaubeiras nativas. Pg-30

TABELA 2. Valores médios para carbono microbiano (Cmic); respiração basal (RB); quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e microbiano (qMic); matéria orgânica (MO), nitrogênio total (NT) e relação C:N, em três profundidades (0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm), e a diferentes distâncias em relação ao caule de macaubeiras nativas associadas à pastagem. Pg-30

TABELA 3. Comparação das diferenças entre as distâncias horizontais dentro da profundidade na interação para o Carbono Microbiano, Nitrogênio Total e Quociente microbiano. Pg-35

TABELA 4. Comparação das diferenças entre as profundidades dentro de três distâncias na interação para o Carbono Microbiano, Nitrogênio Total e Quociente microbiano. Pg-36

## 1. INTRODUÇÃO

A palmácea Macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma espécie nativa das matas tropicais. Essa essência florestal além de ser uma alternativa para a produção de biodiesel, quando consorciada com pastagens, pode auxiliar na recuperação de áreas degradadas.

A macaúba é uma palmeira rústica apresentando baixa exigência hídrica durante a sua existência, o que demonstra sua importância diante dos atuais problemas climáticos e a escassez de água que existe em vários estados brasileiros. Além disso, as crescentes dificuldades de exploração dos combustíveis fósseis cria a expectativa de uma demanda cada vez maior de um programa para energias renováveis, levando em conta a utilização de plantas de alta produtividade, como é o caso da espécie em análise. Outro importante papel da mesma é a necessidade de frear o êxodo rural, garantindo renda às populações em suas regiões de origem.

A macaúba tem potencial estimado de produção de 25 mil kg/ha de fruto e produtividade de óleo estimada em 5 mil kg/ha ano. Valores esses somente comparados ao dendê. Espécie responsável por cerca de 30% da produção de óleo atual.

Além do óleo para a produção de biocombustíveis e outros produtos, a macaúba possui subprodutos que podem agregar valor à cadeia produtiva.

Mesmo diante do potencial para diversos usos dessa oleaginosa, pouco se conhece sobre a dinâmica da matéria orgânica e o tamanho, a composição e a atividade da microbiota do solo em áreas sob macaubeiras em sistemas silvipastoris.

Diante do potencial de exploração socioeconômico e ambiental da macaubeira nas áreas do cerrado é necessária uma abordagem sobre o estudo da qualidade do solo sob esse sistema, para monitorar e controlar possíveis impactos que causem a degradação do solo.



## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1.CERRADO**

#### **2.1.1. Aspectos Gerais**

O Cerrado está localizado na porção central do Brasil e ocupa 24 % da superfície do país, em torno de 204 milhões de hectares. Apresenta-se como a segunda maior formação vegetal brasileira, é a savana tropical mais rica do mundo em biodiversidade, com um terço da biodiversidade nacional e 5 % da flora e da fauna mundiais (FALEIRO et al., 2008).

O clima predominante neste bioma é o tropical sazonal, com duas estações bem definidas, a seca que dura de 4 a 7 meses (abril a setembro), e a chuvosa concentrando-se na primavera e verão (outubro a março). Na estação chuvosa, as precipitações variam entre 1.200 e 1.800 mm, com temperatura média anual em torno de 22-23°C (RESCK et al., 2008).

O recurso solo é reflexo da interação entre vários fatores, tais como: clima, geologia, geomorfologia, cobertura vegetal e atividade da fauna. Ecologicamente, os dois principais fatores determinantes da presença das fitofisionomias deste bioma são os solos ácidos, com baixa disponibilidade de nutrientes e muitas vezes alta saturação de alumínio; e o clima tropical estacional (ADÁMOLI et al., 1987).

No Cerrado há predominância das seguintes ordens: Argissolo, Cambissolo, Gleissolo, Latossolo, Luvisolo (EMBRAPA, 2005). Em síntese, os Latossolos ocupam 46 % da área e apresentam boa qualidade física (elevada permeabilidade, baixa erodibilidade, fácil mecanização e média capacidade de retenção de água), entretanto possui fortes limitações como provedor de nutrientes para as plantas (GOEDERT et al., 2008).

Os Gleissolos são solos hidromórficos presentes em ambientes de drenagem imperfeita, mal drenados a muito mal drenados, quase sempre apresentam camada de matéria orgânica mal decomposta sobre camada acinzentada (horizonte glei), em consequência do ambiente de oxi-redução. Estão localizados em baixadas próximos às drenagens e o lençol freático quase sempre está próximo à superfície, pode ocorrer acúmulo de água durante todo o ano ou na maior parte dele. Apresentam sérias limitações ao uso agrícola, principalmente, em relação à deficiência de oxigênio (pelo excesso de água), e à baixa fertilidade e impedimento à mecanização (REATTO et al., 2004).

A heterogeneidade espacial do Cerrado, onde diversas fitofisionomias alternam-se na paisagem, está relacionada à variação dos solos e de suas características, tais como composição química, profundidade e tipo de drenagem (LOPES e COX, 1977).

A vegetação desse bioma apresenta estratégias de adaptação à seca, como raízes alcançando profundidades superiores a 10 m, germinação das sementes na época das chuvas e crescimento radicular pronunciado nos primeiros estádios de desenvolvimento da planta (SANTOS et al., 2004). São descritos onze tipos principais de vegetação para o bioma Cerrado, enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre) (RIBEIRO e WALTER, 1998).

### **2.1.2. Agropecuária no Cerrado**

O bioma Cerrado passou por um rápido processo de urbanização com ocupação agropecuária desordenada. Além da degradação ambiental provocada pela remoção da cobertura natural nativa, a agricultura no Cerrado também é responsável pela liberação de grandes quantidades de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera, principalmente em decorrência das queimadas e da produção de carvão vegetal na etapa de preparação da terra para cultivo. Outro ponto a ser destacado é o risco de erosão e empobrecimento do solo associado ao monocultivo. O processo erosivo do solo é uma ameaça aos recursos hídricos da região, uma vez que, além de promover o assoreamento dos rios, pode levar até eles uma grande quantidade de produtos químicos presentes em corretivos, fertilizantes e agrotóxicos utilizados de forma intensiva na agricultura (KLINK e MACHADO, 2005).

A maior fonte de degradação de terras em todo globo é atribuída à atividade agropecuária (ESWARAN et al. 2001). No Cerrado a produção agropecuária contribui com 33 % do Produto Interno Bruto (PIB), empregando aproximadamente 40 % da população economicamente ativa (FALEIRO et al., 2008).

### **2.1.3. Uso Sustentável do Solo**

Desde a década de 20 com a constatação de que a agricultura convencional apresentava problemas energéticos, econômicos e ambientais emergiram como resposta movimentos de agricultura alternativa, agroecologia e agricultura regenerativa. O

objetivo comum dessas correntes é desenvolver uma agricultura ecologicamente equilibrada, socialmente justa e economicamente viável. De fato, boa parte das ideias e práticas defendidas nestes movimentos serviram como base para o estabelecimento do conceito de agricultura sustentável (TORESAN, 1998).

Um conceito de sustentabilidade aceito na literatura foi apresentado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMD) através do Relatório Brundtland, em 1987. Definiu-se desenvolvimento sustentável como "(...) aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras em atender as suas próprias necessidades" (TORESAN, 1998). Ou seja, usar os recursos naturais com respeito ao próximo e ao meio ambiente. Preservar os bens naturais e a dignidade humana e não esgotar os recursos, conciliando crescimento econômico e preservação da natureza (MENDES, 2007).

O solo e a água são recursos não renováveis e finitos, distribuídos de forma desigual nas regiões geográficas. A degradação do solo é um problema evidente e intenso, particularmente nas regiões tropicais e subtropicais, em decorrência do progressivo aumento da pressão demográfica, do cultivo de terras marginais, com o uso e manejo incorreto do solo, que leva ao esgotamento de sua fertilidade (LAL, 1999).

Um dos principais problemas da agropecuária brasileira é a degradação química, física e biológica do solo. Persiste práticas convencionais de se arar a terra para o plantio. Tais prática expõe o solo aos agentes causadores da erosão além de emitir gases de efeito estufa pela queima da matéria orgânica do terreno (GIESTEIRA, 2011)

A cobertura do solo pelas culturas e restos vegetais desempenha importante papel na dissipação da energia da chuva e na redução do volume e velocidade do escoamento da água, dificultando e tornando menos intenso o trabalho erosivo. A queima ou incorporação dos resíduos orgânicos das culturas anteriores, associada à movimentação e pulverização do solo facilita o processo de conversão da energia da chuva em trabalho erosivo (TORESAN, 1998).

O processo de reciclagem de nutrientes ocorre principalmente por meio da mineralização da matéria orgânica. O conteúdo orgânico do solo exerce um papel fundamental na melhoria de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. O teor de matéria orgânica ou carbono orgânico é um dos mais importantes indicadores da qualidade e da capacidade produtiva do solo. Aumentar estes níveis é uma das mais efetivas formas de contribuir para a restauração da produtividade dos solos erodidos (TORESAN, 1998).

Funções como estabilização dos agregados do solo, retenção de nutrientes e umidade, melhoria nas condições de aeração e infiltração de água (maior porosidade), melhor penetração do sistema radicular e maior reciclagem de nutrientes são atribuídas à matéria orgânica no solo (TORESAN, 1998).

A busca de sustentabilidade no uso do solo e a melhoria de sua capacidade produtiva pressupõem estratégias de manejo que assegurem: aumento da cobertura através de resíduos e culturas, aumento da infiltração e controle do escoamento superficial da água com melhoria dos processos de reciclagem de nutrientes. O que determina a sustentabilidade é justamente a forma como são combinadas e realizadas as práticas agrícolas, já que muitas das tecnologias individuais são multifuncionais e sua adoção significa mudanças favoráveis em diversos componentes do sistema agrícola ao mesmo tempo (TORESAN, 1998).

A degradação das pastagens é a perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis exigidos pelos animais, assim como, o de superar os efeitos danosos de pragas, doenças e plantas daninhas, resultando na degradação dos recursos naturais, em razão de manejos impróprios (MACEDO e ZIMMER, 1993).

Um dos atributos indicativos no processo de degradação de pastagens é a capacidade de suporte animal. Quando a exploração pecuária é monitorada se observa que num primeiro momento diminui-se essa capacidade para a mesma oferta de forragem. A observação na queda da capacidade de suporte, contudo não tem sido suficiente para conscientizar a adoções de ações de manejo de manutenção, o que tem obrigado à utilização de alternativas de recuperação mais dispendiosas (BRANCO, 2000).

O manejo da pastagem visa obter equilíbrio entre o rendimento e a qualidade da forragem produzida, conjuntamente com uma produção ótima por animal e por área. Assim, o conhecimento das inter-relações das partes envolvidas é importante no controle e manejo dos sistemas de pastejo (BRANCO, 2000).

As causas mais importantes da degradação das pastagens podem ser consideradas como as seguintes: germoplasma inadequado ao local; má formação inicial (causada pela ausência ou mau uso de alguns dos itens: práticas de conservação de solos; preparo do solo; correção da acidez e/ou de adubação; escolha inadequada da espécie forrageira; sistemas e métodos de plantio; manejo animal na fase de formação); manejo e práticas culturais (uso do fogo como rotina; métodos, épocas e excesso de

roçagens; ausência ou uso inadequado de adubação de manutenção); ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras; manejo animal (excesso de lotação; sistemas inapropriados de pastejo); ausência ou aplicação incorreta de práticas de conservação do solo após o uso relativo ou uso prolongado de pastejo (BRANCO, 2000).

A demanda de nutrientes pelas plantas forrageiras está em função do tipo de solo, níveis de adubação, espécies utilizadas e intensidade de uso das pastagens. Dessa forma, a queda de vigor e disponibilidade de forragem pode ser fruto do esgotamento de, principalmente: fósforo, nitrogênio e potássio, que foram exportados do solo e não foram restituídos com a prática de adubação (BRANCO, 2000).

## **2.2. MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)**

A espécie macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex Mart.) é representada por palmeiras arborescentes, perenifólias, heliófitas, monóicas, cujos estipes podem atingir acima de 15 metros de altura com 20 a 30 centímetros de diâmetro (LORENZI, 1992).

Esta frutífera, nativa de florestas tropicais, tipicamente brasileira e com ampla distribuição geográfica. No Brasil, ocorrem nos estados do Ceará, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Goiás e por toda região Sul diâmetro (LORENZI, 1992).

Esta palmeira é citada como a única espécie de porte arbóreo de áreas de pastagens (SCARIOT et al., 1995), ocorrendo principalmente em florestas latifoliadas semidecíduas (LORENZI, 1992). As informações sobre as necessidades edáficas da espécie são conflitantes. A espécie é indicadora de solos mesotróficos do Brasil Central Ratter et al. (1996); segundo Motta et al. (2002), a ocorrência de macaúba acompanha áreas de solos com maior fertilidade natural e vegetação primitiva de fisionomia florestal, sendo que a espécie avança como pioneira, evitando extremos de deficiência de nutrientes e água. Novaes (1952) afirma que a palmeira ocorre no Estado de São Paulo em solos pobres, cobertos pelo cerrado.

A macaúba apresenta ampla utilidade e mais recentemente seu fruto tem despertado grande interesse sócio-econômico por sua capacidade de produção de óleo vegetal, considerando-se que ela é citada como uma das principais fontes deste óleo no Brasil. Em meio a suas várias utilidades são relatados usos medicinais, alimentícios, cosméticos, entre outros. Entretanto, é a propriedade oleaginosa dos frutos de macaúba

que vem atraindo mais atenção. Esta palmeira tem a segunda maior produtividade entre as plantas oleaginosas, com produção de 1500 a 5000 kg de óleo por hectare ao ano, o que a torna uma espécie com potencial para a produção de biodiesel, pois além de sua produtividade, ela se mantém produtiva por mais de 100 anos (MARISOLA FILHO, 2009).

O Brasil possui clima propício para o cultivo de plantas oleaginosas e mesmo que a macaúba ocupe a segunda posição no rendimento de óleo vegetal, apresenta a vantagem de ser alternativa para as regiões semi-áridas brasileiras como o Nordeste e Sudeste; em contraposição ao dendê (*Elaeis guineensis*) que é restrito a regiões quentes e úmidas como Amazônia e sul da Bahia (MOURA, 2007).

A utilização do óleo de macaúba para a produção de biodiesel com a participação da agricultura familiar elevaria a demanda pelo plantio dessa cultura e ajudaria a promover o desenvolvimento sócio-econômico de regiões marginalizadas, por meio de programas, gerando emprego e renda contribuindo para a redução da miséria, freando correntes migratórias internas e fixando o homem ao campo (BATISTA, 2006).

A produção de biodiesel em usinas gera de subprodutos como a glicerina, farelo e tortas que se apresentam como fatores limitantes a essa atividade (TEIXEIRA, 2005). Porém, no caso da macaúba, as tortas obtidas da polpa da amêndoa têm alto valor energético, podendo ser usadas como ração para animais domésticos. E além do uso do fruto para a obtenção de óleo, ração e alimentos, o endocarpo pode ser utilizado na fabricação de carvão (MARISOLA FILHO, 2009).

Um dos problemas da macaúba é seu longo período juvenil, já que a espécie pode demorar até sete anos para produzir. No entanto, a macaúba ocupa diversos ambientes na paisagem, como margens de rodovias, cultivos em consórcio com culturas anuais, perene e pastagens, áreas degradadas ou em processo de recuperação (MOTA et al., 2011). Portanto, o consórcio apresenta-se como possibilidade de sustento dos produtores até o amadurecimento da palmeira.

O solo apresenta como uma de suas funções o fornecimento de água e nutrientes aos vegetais, além de ser base para a sua sustentação, por isso o planejamento de sistemas de produção devem considerar a capacidade de uso do solo no intuito de promover seu uso sustentável.

Em seu estado natural, o solo encontra-se coberto pela vegetação, que o protege da erosão e contribui para manter o equilíbrio entre fatores de sua formação e aqueles que promovem sua degradação. O rompimento dessa relação provoca alterações

biológicas, químicas e físicas, as quais se não forem monitoradas e controladas, levam à queda de produtividade e à degradação do ecossistema (SIQUEIRA et al, 1994).

Diante do potencial de exploração econômico da macaúba nas áreas do cerrado é necessária uma abordagem sobre o estudo da qualidade do solo sob esse sistema para monitorar e controlar possíveis impactos que causem a degradação do solo.

O solo é um corpo dinâmico, vivo e natural que determina funções fundamentais nos ecossistemas terrestres. Os componentes do solo incluem a matéria mineral inorgânica (areia, sedimentos e partículas de argila), matéria orgânica, água, gases, e organismos vivos e há um contínuo intercâmbio de moléculas e íons entre as fases sólida, líquida e gasosa que são mediados pelos processos físicos, químicos e biológicos (DORAN e PARKIN, 1994).

A macaubeira é uma alternativa para a diminuição de gases de efeito estufa na atmosfera, devido à absorção e estoque de carbono na superfície terrestre. Além disso, para a produção de biodiesel são utilizados apenas seus frutos, portanto o carbono continua fixado nas raízes, estipe e folhas, e com isso o estoque de carbono fixado pela palmeira é maior se comparado às espécies agrícolas convencionais que são colhidas anualmente (MOTA et al., 2011). Recomenda-se o consórcio de palmeiras oleaginosas com pastagem visando aumentar os estoques de carbono no solo e diminuir a emissão de gás carbônico para atmosfera (DIAS et al., 2011).

Uma das metas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é recuperar 15 milhões de hectares entre os anos de 2010 e 2020. Nessas linhas de ação, atenção especial tem ocorrido com o intuito de promover incentivos para recuperação de áreas degradadas (DIAS et al., 2011).

Para sistemas Silvopastoris (SSP), a macaúba é uma espécie com potencial, devido aos múltiplos usos que possibilita diversificar a produção de bens e serviços ambientais (DIAS et al., 2011).

Características botânicas e morfológicas da macaúba favorecem a captação de água de maneira eficiente. O próprio formato da copa lembra um funil, e os folíolos são em formato de calhas, capazes de direcionar a água da chuva interceptada pelas folhas, assim como as bainhas lembram calhas ainda maiores direcionando para o estipe. A presença de espinhos e de pêlos aumentam a área de superfície de captação, mantendo a umidade e a temperatura microclimática. Observa-se que no estipe junto às bainhas forma-se um emaranhado de fibras semelhante ao xaxim, compondo mais uma eficiente estratégia de captação e retenção de água. Aliar essas características específicas de

retenção de água da chuva de maneira eficiente com a introdução em uma área de pastagem degradada resultou em contribuição positiva para os processos hidrológicos, e diversificação de renda (DIAS et al., 2011).

A manutenção de cobertura morta na área sob cultivo de macaúba promove a ciclagem de nutrientes e mantém um microclima favorável ao desenvolvimento de microrganismos, micro e mesofauna, importantes na manutenção do equilíbrio biológico no local. Por propiciar a manutenção do equilíbrio ecológico, espera-se reduzir a quantidade de defensivos agrícolas, com ganhos ecológicos e econômicos (DIAS et al., 2011).

A macaúba apresenta um perfil desejável, uma vez que é uma espécie perene, cuja morfologia favorece o escoamento de água da chuva pelo tronco ou estipe, diminuindo a energia cinética da água. Portanto a palmeira forma barreira física contra o escoamento superficial de água livre além de proteger o solo. O cultivo dessa espécie em consórcio com o pasto pode trazer ganhos ambientais diminuindo a quantidade de água escoada pela superfície do solo.

## **2.3 QUALIDADE DE SOLO**

O solo é formado por processos resultantes de fatores bióticos e abióticos, que determinam a sua constituição e o seu comportamento em ambiente natural, em equilíbrio. A interação e a intensidade destes fatores dão origem a solos com diferentes características, que permitem definir sua aptidão para o uso agrícola (RESENDE et al., 2007). Assim, as áreas nativas de Cerrado incorporadas aos processos de produção agropecuária levam à ruptura do equilíbrio natural dos solos.

Uma estratégia para verificar se o solo está sendo usado de modo sustentável baseia-se na adoção do enfoque de qualidade do solo (QS) proposto por Doran e Parkin (1994), entretanto há dificuldades na seleção das propriedades do solo que devem ser avaliadas, e seus valores considerados adequados ou ideais, uma vez que estes variam com o tipo de solo (ARSHAD e MARTIN, 2002). O conceito de qualidade de solo é baseado na premissa de que o manejo pode degradar, estabilizar ou aumentar as funções do ecossistema (FRANZLUEBBERS, 2002).

As práticas adequadas de manejo contribuirão para que a longo prazo, um novo equilíbrio seja atingido, resultando em solo com qualidade diferente daquela de solos sob vegetação natural. Dessa forma, ainda que a qualidade do solo não possa ser medida



diretamente, pode ser inferida a partir de mudanças avaliadas nos seus atributos ou nos atributos do ecossistema, com os indicadores (SEYBOLD et al., 1997).

O conceito de qualidade do solo começou a ser formulado no início dos anos 90, sendo definido, de forma simplificada, como a aptidão para o uso agrícola. Com o passar dos anos e a evolução das pesquisas este conceito foi incrementado, e um solo de qualidade é definido como aquele capaz de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do ambiente e promovendo a saúde de plantas e animais (CONCEIÇÃO et al., 2005).

### **2.3.1. Indicadores de Qualidade do Solo**

Os indicadores de qualidade do solo se referem aos atributos mensuráveis que influenciam na capacidade dos solos, tanto para manutenção da produção agrícola, como para cumprir as funções ambientais (ARSHAD e MARTIN, 2002). Os critérios para seleção destes devem se relacionar com a sua utilidade em explicar os processos de um ecossistema, integrar propriedades física, químicas e biológicas, ser sensível ao manejo e às variações climáticas e ser útil e acessível aos especialistas em agricultura, produtores, ambientalistas e gestores públicos (DORAN e PARKIN, 1994).

O Instituto de Qualidade do Solo (Soil Quality Institute) do USDA (2001) destaca que os indicadores de qualidade do solo devem atender aos seguintes requisitos:

- a) Ser de fácil mensuração;
- b) Capaz de medir as alterações nas funções do solo;
- c) Ser avaliado numa quantidade razoável de tempo;
- d) Acessível a vários usuários e aplicável em diversas condições de campo;
- e) Sensível às variações de clima e de manejo;
- f) Representar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo;
- g) Avaliados por métodos qualitativos e/ou quantitativos.

#### **2.3.1.1. Químicos**

Os indicadores químicos são agrupados em variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo, acidez do solo, o conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos (alumínio) e determinadas relações (saturação por bases, alumínio e C:N). A

determinação do pH, da capacidade de troca catiônica e de nutrientes torna-se essencial para analisar aspectos químicos de qualidade do solo, uma vez que fornecem uma medida da habilidade do solo em suprir nutrientes (DORAN e PARKIN, 1996).

#### 2.3.1.1.1. Matéria orgânica do Solo (MOS)

Matéria orgânica do solo (MOS) refere-se a todos os elementos que possuem carbono orgânico no solo, incluindo os microorganismos vivos e mortos, animais parcialmente decompostos e produtos de sua decomposição, resíduos de plantas, e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas. Esse conceito é muito amplo, gerando uma composição extremamente complexa, em função da mistura de diferentes compostos e grande variedade de processos naturais de degradação e síntese que ocorrem na sua formação. Em geral, na grande maioria dos solos, o teor de matéria orgânica varia de 0,5 a 5,0 % nos horizontes minerais superficiais (SANTOS, 2007).

A MOS, que dá ao solo sua cor escura, é composta principalmente por um material chamado húmus (BAIRD, 2005), que passa por dois processos de transformação básicos e opostos, mineralização e humificação (LIMA et al., 2003).

O conteúdo e a composição são consequência de vários fatores tais como: o tipo de vegetação, a topografia, o clima e o tempo (idade), onde o acúmulo ou a destruição sofrem o efeito da atividade dos microrganismos, os quais são afetados pelas condições de umidade, aeração, pH e temperatura, além dos nutrientes e fontes energéticas (SANTOS, 2007).

A matéria orgânica interfere em diversas propriedades do solo, tais como: adsorção de cátions e ânions, auxilia na estabilização da estrutura do solo, retenção de água, influencia diretamente na cor, reduz a plasticidade e provoca sensível diminuição na compactação, por aumentar a porosidade do solo. As quantidades de matéria orgânica presentes no solo variam com o clima, tipo de vegetação ou cobertura, textura e regime de saturação hídrica do solo e ainda, de acordo com o manejo (SANTOS, 2007).

No solo, a matéria orgânica também é uma importante fonte de nitrogênio (LUCHESE et al. 2002). Devido à atividade biológica, o solo passa a conter, através da MO, dois importantes elementos não presentes no material de origem do solo, carbono e

nitrogênio. A MOS, possui em média cerca de 58 % de C, e é responsável pelas características químicas, físicas e microbiológicas do solo (SANTOS, 2007).

#### 2.3.1.1.2. Relação entre Carbono e Nitrogênio (C:N)

A relação C:N é um importante indicador da decomposição da MOS, disponibilizando informação sobre o estado de humificação. Na decomposição da MOS a relação C:N é importante para a determinação da competição entre os nutrientes essenciais para a atividade dos microrganismos do solo (LUCHESE et al. 2002).

Os valores para a relação C:N da matéria orgânica em solos agrícolas geralmente variam entre 9 e 14, valores estes encontrados nos tecidos dos microrganismos e no húmus. Em geral, são mais baixos em solos de zonas áridas, com baixa taxa de precipitação, que aqueles de zonas úmidas, quando as condições de temperatura são parecidas (LUCHESE et al. 2002). Há tendência em decréscimo na relação C:N no perfil de solo com aumento da profundidade. De acordo com as características do solo a diminuição na relação C:N com o aumento da profundidade no perfil pode ser mais ou menos acentuada, dependendo do solo (COSTA, 2004). A relação C:N afeta a disponibilidade de nitrogênio disponível no solo (SANTOS, 2007).

#### 2.3.1.1.3. Nitrogênio Total (NT)

Entre os indicadores de qualidade do solo o nitrogênio total (NT) desempenha um papel fundamental por sua relação com a capacidade produtiva do solo. A dinâmica do nitrogênio no solo é semelhante a do carbono, pois na sua grande maioria encontra-se no solo na forma orgânica (95%), e em pequena proporção na forma mineral (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

O nitrogênio (N), por sua vez, ocupa posição de destaque entre os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas. A grande necessidade deste, pelos vegetais faz com que seja um dos nutrientes mais limitantes à produtividade da maioria dos sistemas agrícolas (REIS et al., 2006). O N é um dos elementos mais sensíveis às modificações das condições ambientais, como consequência dos inúmeros processos químicos e biológicos que controlam a sua disponibilidade e perda (MALUCHE, 2004).

### **2.3.1.2. Microbiológicos**

A avaliação de atributos biológicos do solo é adequada à maioria dos critérios para a seleção de um indicador de qualidade (DORAN e ZEIS, 2000). A capacidade de responder rapidamente a mudanças no ambiente do solo derivadas das alterações no manejo justifica o uso de microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade de solo (TÓTOLA e CHAER, 2002).

A biomassa microbiana é um dos componentes que controlam funções chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica, ou transformações envolvendo os nutrientes. Os solos que mantêm um alto conteúdo de biomassa microbiana são capazes de estocar e de ciclar nutrientes no sistema (GREGORICH et al., 1994).

A atividade biológica é basicamente encontrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 a 30 cm. Nestas camadas, o componente biológico corresponde a uma fração de menos que 0,5 % do volume total do solo e representa menos que 10 % da matéria orgânica. Este componente biológico consiste principalmente de microrganismos que desempenham varias funções essenciais para o funcionamento do solo. Os microrganismos decompõem a matéria orgânica, disponibilizando nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradam substâncias tóxicas (KENNEDY e DORAN, 2002). Além disso, formam associações simbióticas com as raízes das plantas, agem no controle biológico de patógenos, influenciam na solubilização de minerais e auxiliam na estruturação e agregação do solo. A função dos microrganismos é mediar processos no solo relacionados com o manejo e portanto são indicadores sensíveis de alterações na qualidade do solo. Em alguns casos, alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo (TÓTOLA e CHAER, 2002).

Dentre os atributos microbiológicos, destacam-se o carbono da biomassa microbiana e a respiração basal, que são muito sensíveis às alterações que ocorrem no solo, tais como manejo e cultivo, além de alterações ambientais, como a umidade (PEREZ et al. 2004). A respiração basal é um indicativo da atividade microbiana do solo e representa o carbono prontamente mineralizável do solo (ALEF e NANNIPIERI, 1995). A avaliação destes atributos, em solos sob vegetação natural, tem sido adotada como alternativa, em estudos que visam a avaliar e monitorar a QS sob uso agropecuário, quando não se dispõe da definição de parâmetros ou valores dos atributos

de QS considerados sustentáveis, para os solos em estudo sob uso antrópico (FRANZLUEBBERS, 2002).

#### 2.3.1.2.1. Carbono Microbiano ( $C_{mic}$ )

O carbono da biomassa microbiana do solo ( $C_{mic}$ ) representa a quantidade de carbono que a biomassa microbiana do solo imobilizou nas suas células. Fatores que afetam a densidade e a atividade dos microrganismos do solo, como o pH e a disponibilidade de substrato, influenciam na decomposição da matéria orgânica e na assimilação de carbono. A biomassa microbiana é influenciada pelo teor de argila dos solos. Além de armazenador de nutrientes, o carbono microbiano pode servir como indicador rápido da sensibilidade da microbiota às interferências nos ecossistemas (FIALHO et al., 2006).

Carvalho (2005), em seu estudo para verificar a utilização de atributos bioquímicos como indicadores de qualidade do solo em seis ecossistemas de araucária no Estado de São Paulo, verificou que os valores isolados de carbono da biomassa microbiana não serviram como indicadores precisos e confiáveis da qualidade do solo. Ainda segundo a autora houve uma tendência geral das Matas Naturais apresentarem os maiores teores de carbono microbiano.

Os teores de carbono microbiano observados nos ecossistemas brasileiros, sob diversas condições edafoclimáticas variam de 200 a 1600  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo (BARETTA et al., 2005; MALUCHE-BARETTA et al., 2006; FALL, et al., 2012). Esta amplitude nos valores do carbono microbiano parece estar associada à heterogeneidade de características existentes nos diversos ecossistemas (CHOROMANSKA e DELUCA, 2001). Portanto, o valor isolado do carbono microbiano não é um indicador tão preciso e confiável para estudar alterações em ecossistemas, a não ser quando também ocorre o monitoramento da biomassa no espaço temporal (CARVALHO, 2005).

#### 2.3.1.2.2. Respiração Basal (RB)

A respiração é um dos métodos mais antigos para quantificar a atividade microbiana e consiste na produção de  $\text{CO}_2$  ( $\text{C-CO}_2$ ) ou consumo do  $\text{O}_2$  como resultado dos processos metabólicos de todos os organismos vivos presentes no solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Esta atividade metabólica é dependente do estado fisiológico da célula e influenciada por diversos fatores no solo como a umidade, temperatura,

estrutura do solo e disponibilidade de nutrientes (ALEF e NANNIPIERE, 1995); clima, propriedades físicas e químicas e práticas agrícolas (GAMA-RODRIGUES, 1999).

Como a degradação da matéria orgânica do solo é realizada por microrganismos heterotróficos, a atividade microbiana do solo pode ser utilizada para entender os processos de mineralização e intensidade de fluxos de energia no solo (TÓTOLA e CHAER, 2002).

Insam e Domsch (1988) relatam que a medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como CO<sub>2</sub> pela respiração e uma fração significativa de carbono é incorporada à biomassa microbiana. Desta forma, considerando a mesma constituição da comunidade microbiana, uma biomassa “eficiente” teria menor taxa de respiração em relação a uma biomassa “ineficiente” (CARVALHO, 2005).

Carvalho (2005) verificou que a respiração basal mostrou-se sensível para captar alterações ocorridas no ambiente. A autora encontrou uma tendência geral das matas apresentarem baixos valores de respiração e altos valores de carbono microbiano, o que evidencia que as comunidades microbianas destes ecossistemas perdem menos carbono na forma de CO<sub>2</sub> por meio da respiração, e uma fração significativa de carbono está sendo incorporada na constituição da biomassa, sugerindo que as comunidades avaliadas se encontram num estágio de sucessão mais avançado, no qual a retenção e conservação de nutrientes são maiores (ODUM, 1983), pois a comunidade microbiana utiliza as substâncias orgânicas mais para o seu crescimento do que para a sua manutenção (MADER et al., 2002).

#### 2.3.1.2.3. Índices Microbiológicos

##### 2.3.1.2.3.1. Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>)

O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), relaciona a respiração basal com o carbono da biomassa microbiana, e refere-se à quantidade de CO<sub>2</sub> incorporada por grama de biomassa em um determinado tempo. O qCO<sub>2</sub> representa a taxa de respiração específica da biomassa microbiana, sendo importante em estudos que avaliam os efeitos ambientais sobre a atividade microbiana (DE-POLLI e GUERRA, 1997), devido a possibilidade de quantificar de forma mais clara e com menor variabilidade a atividade microbiana (AQUINO et al., 2005). O qCO<sub>2</sub> pode ser indicador da condição de estresse

da biomassa microbiana do solo (BARETTA et al., 2005; MALUCHE-BARETTA et al., 2006)

Esse quociente expressa a energia necessária para a manutenção da atividade metabólica em relação à energia necessária para a síntese da própria biomassa (BARDGETT e SAGGAR, 1994).

Islam e Weil (2000) relatam que o quociente metabólico apresentou comportamento inversamente proporcional à qualidade do solo, portanto aumentos no  $qCO_2$  indicam perda de qualidade do solo.

Valores baixos desse quociente indicam alta atividade específica por unidade de biomassa, e valores altos mostram que a eficiência da atividade microbiana do solo está baixa e que os microrganismos estão sob estresse ambiental (WARDLE e GHANI, 1995), pois uma biomassa eficiente libera menos carbono em forma de  $CO_2$  pela respiração, mas incorpora carbono em sua constituição aumentando sua massa microbiana (AQUINO et al, 2005).

Tótola e Chaer (2002) afirmam que valores mais elevados de  $qCO_2$  indicam um maior consumo de carbono prontamente mineralizável, elevando as perdas de  $CO_2$ .

Um  $qCO_2$  baixo pode estar correlacionado com uma maior diversidade da comunidade microbiana e uma maior eficiência do uso da energia, pois Mader et al. (2002), em avaliação de 21 agroecossistemas encontraram correlação negativa entre o quociente metabólico e a diversidade microbiana.

Sistemas mais sustentáveis, onde as populações microbianas possuem menor necessidade energética para a sua manutenção, apresentam menores valores de  $qCO_2$ , como menores perdas de carbono para a atmosfera (CHOROMANSKA e DELUCA, 2001). Em áreas onde as populações microbianas se encontram em condições de maior estresse há uma maior taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, com maiores perdas de carbono o que compromete a ciclagem de nutrientes (GAMA-RODRIGUES, 1999). Esse comportamento ocorre com mais frequência em solos ácidos, se comparados aos solos neutros; e em sistemas jovens em relação aos estáveis (ANDERSON e DOMSCH, 1993).

Carvalho (2005), em seu estudo para verificar a utilização de atributos bioquímicos como indicadores de qualidade do solo em seis ecossistemas de araucária no Estado de São Paulo, verificou que o quociente metabólico mostrou-se sensível para captar alterações ocorridas no ambiente. A autora relata que os valores encontrados nos ecossistemas avaliados foram baixos, mesmo sendo solos ácidos, entretanto tal

resultado era esperado porque foi observado um maior armazenamento de nutrientes pela biomassa com menor perda de C-CO<sub>2</sub> para o ambiente indicando que estes ecossistemas estão num estágio mais avançado de sucessão, onde o acúmulo de energia retido no sistema é maior (ANDERSON e DOMSCH, 1990).

#### 2.3.1.2.3.2. Quociente Microbiano (qMic)

A relação entre o carbono microbiano (C<sub>mic</sub>) e o carbono orgânico (C<sub>org</sub>) é chamada de quociente microbiano (qMic). Essa relação expressa a quantidade de carbono imobilizado na biomassa microbiana (SILVA, 2001), mede a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono orgânico do solo (FRANCHINI et al., 2007), fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica (FIALHO et al., 2006); além de ser indicadora sensível das perturbações que ocorrem no solo (BARETTA et al., 2005).

Anderson e Domsch (1993) sugeriram um intervalo entre 0,3 a 7 % para a relação entre o carbono microbiano e orgânico do solo. De acordo com esses autores uma maior relação C<sub>mic</sub>:C<sub>org</sub> representa uma maior ciclagem de nutrientes e um menor acúmulo de carbono.

Brookes (1995) destaca que a relação entre o carbono microbiano e o orgânico pode ser utilizada como controle interno e como um indicador preliminar de alterações do solo em ecossistemas.

Um alto valor dessa relação está associado a uma matéria orgânica de boa qualidade; entretanto em circunstâncias de desequilíbrio ambiental a capacidade de utilização de C é diminuída e o valor do qMic tende a diminuir (WARDLE, 1992). Maiores valores para essa relação indicam um sistema em equilíbrio (JENKINSON e LADD, 1981).

Em ecossistemas estáveis há tendência de aumento da atividade microbiana e o qMic tende a crescer até atingir um equilíbrio (POWLSON et al., 1987), portanto em ambientes em estado de equilíbrio o valor desta relação pode ser usado para avaliar quanto um solo se encontra degradado.



### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁLMOLI, J.; MADEIRA NETO, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G. Recursos naturais dos cerrados: análise, ampliação e adequação de informações. In: **Relatório técnico anual do centro de pesquisa agropecuárias dos cerrados**, Brasília, 1982-1985, Embrapa- CPAC, 1987, p. 41-45.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press. 576p. 1995.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.25, p.393-395, 1993.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology & Biochemistry**, v.22, p.251-255, 1990.

AQUINO, A. M.; SILVA, E. M. R.; SAGGIN JUNIOR, O.; RUMJANEK, N.; DE-POLLI, H.; REIS, V. M. A biota do solo e processos relevantes num novo contexto da agricultura. In: **Recomendações para adubação e manejo da fertilidade do solo no estado do Acre**. Rio Branco, 2005, cap. 04, 2005.

ARSHAD, M. A.; MARTINS, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.88, n.2, p.153-160, 2002.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª ed. Bookman, Porto Alegre, 2005.

BARDGETT, R. D.; SAGGAR, S. Effect of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labeled (<sup>14</sup>C) in a pasture soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.26, p.727-733, 1994.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.715-724, 2005.

BATISTA, A. C. Biodiesel no tanque, [http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/energia/index.html&conteudo=/energia/artigos/oleo\\_vegetal.html](http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/energia/index.html&conteudo=/energia/artigos/oleo_vegetal.html). (Acesso em 12/08/09).

BRANCO, R. H. **Degradação De Pastagens. Diminuição Da Produtividade Com O Tempo. Conceito de Sustentabilidade**. Trabalho apresentado como parte das exigências da disciplina de Forragicultura – ZOO 650 da Universidade Federal de Viçosa. UFV, 2000.

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.19, p.269-279, 1995.

CARVALHO, F. de Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. No Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado – ESALQ, Piracicaba, 2005.

CHOROMANSKA, U.; DELUCA, T. H. Prescribed fire alters the impact of wildfire on soil biochemical properties in a ponderosa pine Forest. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.65, p.232-238, 2001.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICKZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista brasileira de Ciência do Solo**. V.29, p.777-788, 2005.

COSTA, J. B. **Caracterização e Constituição do Solo**. 7ª ed. Lisboa, Ed. Fundação Calouste, 2004.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método fumigação-extração**. Seropédica: Embrapa – CBPAB, 10p. (Embrapa – CNPAB. Documentos, 37). 1997.

DIAS, H. C. T.; SATO A. Y., OLIVEIRA NETO, S. N. de, MORAIS, T. de C., FREIRE A. e BENTO, P. S. **Cultivo da macaúba: ganhos ambientais em áreas de pastagens**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, MG: EPAMIG, v.32, n.265, p. 52-60, nov. / dez. 2011.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWARD, B. A. (eds.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: SSSA p.3-21. (SSSA. Special Publication, 35), 1994.

DORAN, J. W. & ZEISS, M. R. Soil Health and sustainability; managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.3-11, 2000.

EMBRAPA CERRADOS: conhecimento, tecnologia e compromisso ambiental / Embrapa Cerrados. –2.ed. rev. e ampl. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005

ESWARAN, H. ; LAL, R & REICH, P.F. Land degradation: An overview. In: BRIDGES, R. F., ED. Response to land degradation. Response to Land Degradation. Madison, IBSRAM. Science Publishers, 2001. p.20-35.

FALEIRO, F. G.; GAMA, L. C.; FARIAS NETO, A. L.; SOUSA, E. S. O Simpósio Nacional sobre o Cerrado e o Simpósio Internacional sobre Savanas Tropicais, In: FALEIRO, F. G. & FARIAS NETO, A. L. (Ed.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. Cap. 1, p.33-48.

FALL, D.; DIOUF, D.; ZOUBEIROU, A. M.; BAKHOUM, N.; FAYE, A.; SALL, S. N. Effect of distance and depth on microbial biomass and mineral nitrogen content under *Acacia Senegal* (L.) Willd. Trees. **Journal of environmental management**, v. 95, p. S260-S264, 2012.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S.; SILVA JUNIOR, J. M. T. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.37, p.250-257, 2006.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.92, n.1, p.18-29, 2007.

FRANZLUEBBERS, A. J. soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil Tillage Research**, 66, p.95-106, 2002.

GAMA-RODRIGUES, S. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre, RS. P.227-243, 1999.

GIESTEIRA, M. **Seminário debate uso sustentável do solo**. Publicado em 11 de abril de 2011. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2011/04/seminario-debate-uso-sustentavel-do-solo>>. Acesso em 18 setembro 2012.

GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. O. Savanas Tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In: FALEIRO, F. G. & FARIAS NETO, A. L. (Ed.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. Cap. 2, p. 49-80.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL; C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.74, n.4, p.367-385, 1994

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v.15, p.177-188, 1988.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.55, p.69-78, 2000.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford, v.5, p.415-471, 1981.

KENNEDY, A.; DORAN, J. **Sustainable agriculture: role of microorganisms**. In: BITTON, G. (Org.) **Encyclopedia of Environmental Microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 2002. p. 3116-3126.

KLINK, C.; MACHADO, R. B. **A conservação do Cerrado brasileiro**. Belo Horizonte, Megadiversidade, v. 1, n.1. jul. 2005. p. 148-155.

LAL, R. **Métodos para a avaliação de uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Jaguariúna: Embrapa, 1999. 1 Ex.

LIMA, M. R (Org.). **Manual de Diagnóstico da Fertilidade e Manejo dos Solos Agrícolas**. 2.ed. Curitiba: UFPR, 2003. p. 97-98.

LOPES, A. S. & COX, F. R. A survey of the fertility estaus of surface soil under “Cerrado” vegetation in Brasil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.41, n.4, p.742-746, 1977.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Plantarum, 1992, 352p.

LUCHESI, E. B. ; FAVERO, L. O. B. ; LENZI, E. **Fundamentos da Química do Solo Teoria e Prática**. 2ª ed. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 2002.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistema Pasto-Lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGEM, 2., **Anais...** Jaboticabal-SP. UNESP. p. 216-245, 1993.

MADER, P.; FLIEBACH, A; DUBOIS, D.; GUNST, L.; FRIED, P.; NIGGLI, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, v.296, p.4, 2002.

MALUCHE, C. R. D. Atributos microbiológicos e químicos do solo em sistema de produção de maçã convencional e orgânico. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina. 2004. 72 pp.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T.; KLAUBERG-FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.10, p.1531-1539, 2006.

MARISOLA FILHO, L. A. Cultivo e processamento de coco macaúba para a produção de biodiesel. Viçosa – MG, **Centro de Produções Técnicas – CPT**, 2009. 333p.

MENDES, T. **Desenvolvimento sustentável**. Publicado em 30 jul. 2007. Disponível em <<http://www.infoescola.com/geografia/desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em 18 setembros 2012.

MOREIRA, F. M. de S. & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 729p., 2006.

MOTA, C. S.; CORRÊA, T. R.; GROSSI, J. A. S.; RIBEIRO, A. da S. **Exploração sustentável da macaúba para produção de biodiesel: colheita, pós-colheita e qualidade dos frutos**. **Informe Agropecuário** 2011 Vol. 32 No. 265 pp. 41-51

- MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; GOMES J. B. V. Occurrence of macaúba in Minas Gerais, Brazil: relationship with climatic, pedological and vegetation attributes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.7, p.1023-1031, 2002.
- MOURA, E. F. **Embriogênese somática em macaúba: indução, regeneração e caracterização anatômica**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Viçosa – MG, 66p. 2007.
- NOVAES, R. F. **Contribuição para o estudo do coco macaúba**. 1952, 85f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1952.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 434p. 1983.
- PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 6, p. 567-573, 2004.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**. v.19, p.159-164, 1987.
- RATTER, J. A. BRIDGEWATER, S.; ATKINSON, R.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation. **Edinburgh journal of Botany**, v.53, n.2, p.153-180, 1996.
- REATTO, A.; MARTINS, E. S.; SPERA, S. T.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO Jr., O. A.; GUIMARÃES, R. F. Levantamento detalhado dos solos da bacia hidrográfica do Córrego Taguatinga, DF, escala 1:25.000. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. (**Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 122).
- REIS, A. R.; FURLANI JÚNIOR, E.; BUZZETI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, 2006, 65: 163-171.
- RESCK, D. V. S.; FERRERIA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: scossistemas tropicais e subtropicais**. 2 Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. P.359-417.
- RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 2007.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. cap. 3, p. 89-166
- SANTOS, B. R.; PAIVA, R.; DOMBROSKI, J. L. D.; MARTINOTTO, C.; NOGUEIRA, R. C.; SILVA, A. A. N. Pequizeiro (*Caryocar brasiliense Camb.*): uma

espécie promissora do cerrado brasileiro. *Boletim Agropecuário da Universidade Federal de Lavras*, 64, 2004. 29p.

SANTOS, E. **Carbono, nitrogênio e relação c/n em gleissolo e cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina – PR.** Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Paraná, 2007.

SCARIOT, A.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Flowering and fruiting phenologies of the palm *Acrocomia aculeata* patterns and consequences. *Biotrópica*, Washington, v.27, n.2, p. 168-173, 1995.

SEYBOLD, C. A., MAUSBACH, M. J.; KARLEN, D. L.; ROGERS, H. H. Quantification of soil quality. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (eds.). **Soil processes and the carbon cycle**. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, p.387-404, 1997.

SILVA, R. R. da. **Qualidade do solo em função de diferentes sistemas de manejo na região de Campos Vertentes, bacia alto do rio Grande – MG.** Dissertação de Mestrado, UFLA. 96p. Lavras, 2001.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S.; GRISI, B. M.; ARAÚJO, R. S. **microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília, DF: EMBRAPA - SPI, 1994. 142p.

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. *Informe Agropecuário*, v.26, p.18-27, 2005.

TORESAN, L. **Sustentabilidade e desempenho produtivo na agricultura: uma abordagem multidimensional aplicada a empresas agrícolas**. Tese (doutorado em engenharia de produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 1998.

TÓTOLA, M. R. & CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. S. & ALVAREZ, V. H. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG. SBCS, v.2, p.195-276. 2002.

USDA - United states Department of Agriculture, 2011. Rangeland soil quality – Soil Biota. Disponível em: <http://soils.usda.gov/sqi/management/files/RSQIS8.pdf>> Acesso em: 10 de setembro de 2012.

WARDLE, D. A.; GHANI, A. A. A critique of the microbial metabolic quotient as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biology and Biochemistry*. v.27, n.12, p.1601-1610, 1995.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews*, v.67, p.321-358, 1992.

## **4. ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO SOB MACAUBEIRAS ASSOCIADAS À PASTAGEM NO CERRADO GOIANO**

Douglas Edmilson Silva & Leandro Costa Lima

### **4.1. RESUMO**

Diante do potencial de exploração econômico da macaubeira nas áreas do cerrado é necessária uma abordagem sobre o estudo da qualidade do solo sob esse sistema, para monitorar e controlar possíveis impactos que causem degradação do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar os atributos microbiológicos de um solo sob macaubeiras associadas à pastagem no Cerrado goiano, em três profundidades e a diferentes distâncias em relação ao estipe da palmeira. Após a seleção de dez macaubeiras da mesma área, as amostras de solo foram coletadas a 50; 150 e 250 centímetros de distância do estipe das palmeiras. Foram coletadas dez subamostras para formar uma amostra composta para cada distância. Foram coletadas amostras nas profundidades de 0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 centímetros. As características analisadas foram: carbono microbiano, respiração basal, quocientes metabólico e microbiano, matéria orgânica, nitrogênio total e relação C:N. O  $C_{mic}$ , RB,  $qCO_2$  e a MO variam conforme se distancia do estipe de macaubeiras no Cerrado. O  $q_{Mic}$ , o NT e a relação C:N não sofrem efeito da variação horizontal em relação ao estipe das macaubeiras.

Termos de indexação: Indicador biológico, qualidade solo, *Acrocomia aculeata*, agroenergia.

### **4.2. INTRODUÇÃO**

Para a produção de biocombustíveis diversas espécies são utilizadas, com composição e rendimento energéticos variados. As palmeiras são consideradas matéria-prima alternativa para a produção de óleo vegetal em substituição à soja, e dentre elas cita-se a macaúba (*Acrocomia aculeata*), tipicamente brasileira e nativa de florestas tropicais. As macaubeiras apresentam características como: adaptabilidade a regiões com restrições hídricas em certas épocas do ano; rusticidade; cultivo que pode ser usado

para reflorestamento, recuperação de áreas degradadas, ou projetos urbanísticos; possibilidade de consórcio com gramíneas e leguminosas para a utilização na pecuária e aproveitamento completo dos frutos. Sua produção estimada por hectare é de 4.000 L de óleo vegetal, 1.200 kg de carvão vegetal, e 5.300 kg de farelo para rações (MARISOLA FILHO, 2009).

Nesse contexto, faz-se necessário o estudo do ambiente de ocorrência dessa espécie, pois as interações solo-planta-atmosfera determinam funções fundamentais nos ecossistemas terrestres e o entendimento delas é importante para direcionar as atividades antrópicas com o foco na sustentabilidade da cadeia de produtos e co-produtos oriundos do coco macaúba.

São escassos os trabalhos que envolvem os atributos do solo, seu manejo e os prováveis impactos do cultivo comercial de macaubeiras na sustentabilidade agrícola. Além disso, a exploração de maciços naturais e o plantio de espécies em áreas com pastagens degradadas para fins de produção de óleo vegetal para o setor de biocombustíveis ainda são incipientes no Brasil.

Em seu estado natural, o solo encontra-se coberto pela vegetação, que o protege da erosão e contribui para manter o equilíbrio entre os fatores de sua formação e aqueles que promovem sua degradação. O rompimento dessa relação provoca alterações biológicas, químicas e físicas nas funções do solo e em sua capacidade produtiva (SIQUEIRA et al., 1994).

Diante do potencial de exploração econômica da macaúba nas áreas do cerrado é necessária a avaliação da qualidade do solo sob esse sistema, para monitorar e controlar possíveis impactos que levem à degradação do solo.

As interações solo-planta-atmosfera determinam funções fundamentais nos ecossistemas terrestres. Devido à grande participação do carbono na constituição dos materiais orgânicos, os estudos sobre a dinâmica, caracterização e funções da MO são realizados, principalmente, por meio do carbono orgânico total. As alterações na MO influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tais como a agregação (SALTON et al., 2008); armazenamento de água (RESCK et al., 2008); capacidade de troca catiônica (CTC) (REIN e DUXBURY, 2008); e disponibilidade de nutrientes (ASHAGRIE et al., 2007) e são dependentes das condições do solo, clima e práticas culturais adotadas (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Além disso, os microrganismos do solo são importantes indicadores da qualidade do solo, pois respondem rapidamente a mudanças no solo pelas alterações no



manejo e a atividade microbiana do solo reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes (TÓTOLA e CHAER, 2002). O manejo adequado dos solos, que contribua para aumentar ou conservar a sua qualidade, além de aumentar a produtividade do sistema de produção, contribuirá para manter a boa qualidade ambiental (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

O objetivo do trabalho foi avaliar os atributos microbiológicos de um solo sob macaubeiras associadas à pastagem no Cerrado goiano, em três profundidades e a diferentes distâncias em relação ao estipe da palmeira.

### **4.3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.3.1. Caracterização da área de estudo e amostragem**

O estudo observacional foi realizado na região de Planaltina de Goiás, na Fazenda Agropecuária Santa Fé (S15°20'35'' e W47°34'34''), Goiás, Brasil. Trata-se de um maciço de macaubeiras nativas de ocorrência em formação savânica do bioma Cerrado, com vegetação do tipo palmeiral e subtipo macaubal, próxima à mata de galeria não inundável associada à pastagem. O clima predominante corresponde ao tropical estacional de savana do tipo Aw, conforme classificação de Köppen, com temperatura média anual entre 18 °C e 28,5 °C. A precipitação pluvial média anual é de 1.400 milímetros, concentrada entre os meses de outubro a março. A região apresenta duas estações bem definidas: estação seca e fria durante o inverno e estação chuvosa e quente durante o verão. A altitude é aproximadamente de 1017 metros.

O estudo foi realizado em um Gleissolo, textura média, fase mata de galeria não inundável em relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). As propriedades físico-químicas do solo na camada 0 a 30 cm foram: pH = 4,8; matéria orgânica (M.O.) = 32,3 g kg<sup>-1</sup>; fósforo = 6,7 mg dm<sup>-3</sup>; potássio = 89 mg dm<sup>-3</sup>; cálcio = 2,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; magnésio = 1,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; acidez potencial (H+Al) = 6,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; areia = 423 g kg<sup>-1</sup>; argila = 327,3 g kg<sup>-1</sup> e silte = 249,8 g kg<sup>-1</sup>.

Na área com macaubeiras foram selecionadas, ao acaso dentro da mata, dez árvores, vigorosas com aproximadamente 10 metros de altura; isoladas em um raio de três metros da possível interferência de raízes de outras árvores e arbustos. As amostras de solo foram coletadas a 50; 150 e 250 centímetros de distância do estipe das

palmeiras. Uma linha horizontal, imaginária, foi traçada a partir da base do caule das macaúbeiras e sobre ela foram coletadas cinco subamostras à direita e cinco à esquerda, perpendicularmente a essa linha, totalizando dez subamostras para formar uma amostra composta, contendo aproximadamente 800 gramas de solo, para cada distância.

Foram coletadas amostras nas profundidades de 0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 centímetros, durante o verão chuvoso (março de 2010). Foram retiradas 90 amostras de solo na primeira quinzena de março. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e transportadas em caixa de isopor com gelo até o Laboratório de Microbiologia e Bioquímica do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (FAV/UnB-DF). Em seguida, uma porção de solo (aproximadamente 300 gramas) de cada amostra foi separada, acondicionada em saco plástico identificado e mantida sob refrigeração ( $\pm 4$  °C) até o momento das análises biológicas. A outra fração (500 gramas) destinada às análises químicas foi seca ao ar e tamisada em peneira com malha de abertura de dois milímetros para formar a terra fina seca ao ar (TFSA) e armazenada em sacos plásticos à temperatura ambiente até o momento das análises químicas.

#### **4.3.2. Métodos Analíticos**

**Determinação da biomassa microbiana do solo:** A biomassa microbiana do solo (BMS) foi estimada pelo uso do método clorofórmio-fumigação-extração (CFE), proposto por Vance et al. (1987). O carbono microbiano foi obtido pela diferença entre o carbono extraído das amostras fumigas e o das amostras não fumigadas multiplicadas pelo fator de conversão ( $K_{EC} = 2,64$ ).

**Avaliação da atividade microbiana do solo:** A atividade microbiológica foi avaliada pela respiração basal, pelo método de quantificação do dióxido de carbono (C-CO<sub>2</sub>) desprendido das amostras de solo não fumigadas em um período de sete dias (ALEF e NANNIPIERI, 1995).

**Cálculo do quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e microbiano:** O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) é a taxa de respiração específica da biomassa microbiana e foi calculado pela divisão da respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) pelo carbono microbiano (Cmic), (ANDERSON e DOMSCH, 1993).

A partir dos resultados do carbono microbiano (Cmic) e do carbono orgânico total (Corg), foi calculada a relação entre o carbono microbiano e orgânico (Cmic:Corg), definida como quociente microbiano (qMic), expressa como o percentual

de carbono microbiano em relação ao carbono orgânico total do solo. Essa relação fornece dados sobre a eficiência da conversão do carbono orgânico em carbono microbiano (SPARLING, 1992).

#### **Determinação da matéria orgânica do solo (MO) e carbono orgânico total:**

A matéria orgânica do solo (MO) foi determinada a partir do teor de carbono orgânico total do solo quantificado por dicromatometria. Para o cálculo da matéria orgânica considerou-se que, o acúmulo de C na matéria orgânica humificada do solo é em torno de 58 %.

O teor de carbono orgânico total do solo (Corg) foi determinado conforme o manual de análises de solo (EMBRAPA, 1997).

#### **Determinação do nitrogênio total (NT) e cálculo da relação C:N:**

O nitrogênio total no solo (NT) foi determinado de acordo com Bremner e Mulvaney (1982). A relação C:N é utilizada como indicativo da qualidade da matéria orgânica (STEVENSON; COLE, 1999), e foi calculada pela relação entre o carbono orgânico total (Corg) e o nitrogênio total (NT).

#### **4.3.3. Análises Estatísticas**

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o seguinte modelo:

$Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + (AP)_{ij} + H_k + (PH)_{jk} + A_i H_k (P_j) + \epsilon_{ijk}$ ; Onde:  $A_i$ : efeito da árvore  $i$ ;  $P_j$ : efeito da profundidade  $j$ ;  $(AP)_{ij}$ : efeito da interação árvore \* profundidade;  $H_k$ : efeito da distância horizontal  $k$ ;  $(PH)_{jk}$ : efeito da interação profundidade \* distância horizontal;  $A_j H_k (P_j)$ : efeito da interação árvore \* distância \* profundidade e  $\epsilon_{ijk}$ : erro aleatório.

Por se tratar de um estudo observacional e não de um experimento, não se conhece a estrutura das variâncias e covariâncias dos dados e por isso foi conduzido um estudo estatístico para se indicar a melhor estrutura. As técnicas para os tratamentos das variáveis observadas estão descritas em Littell et al. (1996). O método de análise foi o de máxima verossimilhança restrita, via programa PROC MIXED do software SAS versão 9.1 (SAS, 2008) e as médias foram comparadas pelo teste  $t$  ( $P < 0,05$ ). As médias das observações de carbono microbiano, respiração basal, quocientes metabólico e microbiano, matéria orgânica, nitrogênio total e relação C:N foram submetidas a testes para verificar se seguiam a distribuição normal, e para verificar a homogeneidade de variâncias.

Optou-se por esse modelo porque ele pode representar o que está ocorrendo com as variáveis observadas na natureza. Para a avaliação do estudo observacional as árvores foram consideradas como os blocos (blocos casualizados), e os dados foram observados a três profundidades e em três distâncias para se estudar o comportamento dos atributos microbianos do solo em relação ao efeito espacial (vertical e horizontal).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O carbono microbiano (Cmic), a respiração basal (RB), o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e a matéria orgânica (MO) foram influenciados pelo distanciamento (50; 150 e 250 cm) em relação à base do caule das macaubeiras (Tabelas 1 e 2). Todos os atributos avaliados sofreram efeito da profundidade de coleta conforme resultados apresentados nas (Tabelas 1 e 2). Houve interação entre distância e profundidade para o carbono microbiano, quociente microbiano e nitrogênio total (Tabelas 1, 2, 3 e 4).

TABELA 1 - Valores de F da análise de variância para carbono microbiano (Cmic); respiração basal (RB); quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e microbiano (qMic); matéria orgânica (MO), nitrogênio total (NT) e relação C:N, em três profundidades (0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm), e a diferentes distâncias em relação ao caule de macaubeiras nativas

	Cmic	RB	qCO <sub>2</sub>	qMic	MO	NT	C:N
<sup>(1)</sup> Distância	5,1 <sup>**</sup>	25,36 <sup>****</sup>	4,44 <sup>*</sup>	2,53 <sup>ns</sup>	5,05 <sup>*</sup>	3,29 <sup>ns</sup>	1,59 <sup>ns</sup>
Profundidade	28,11 <sup>****</sup>	144,63 <sup>****</sup>	47,14 <sup>****</sup>	27,56 <sup>****</sup>	195,89 <sup>****</sup>	84,76 <sup>****</sup>	81,28 <sup>****</sup>
Dist*prof	2,71 <sup>*</sup>	1,67 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	3,56 <sup>*</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	5,09 <sup>**</sup>	1,97 <sup>ns</sup>

<sup>(1)</sup>Efeitos fixos ( distâncias a 50, 150 e 250 cm de distância em relação ao caule das macaubeiras; profundidades 0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm, e interação entre distância e profundidade).

Valores seguidos por: <sup>(\*\*\*\*)</sup>, <sup>(\*\*\*)</sup>, <sup>(\*\*)</sup>, e <sup>(\*)</sup> mostraram efeitos, a 0,01 ( $p < 0,0001$ ); 0,1 ( $p < 0,001$ ); 1 ( $p < 0,01$ ); e a 5 % ( $p < 0,05$ ), respectivamente; e (ns) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade para o teste t

TABELA 2 – Valores médios para carbono microbiano (Cmic); respiração basal (RB); quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e microbiano (qMic); matéria orgânica (MO), nitrogênio total (NT) e relação C:N, em três profundidades (0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm), e a diferentes distâncias em relação ao caule de macaubeiras nativas associadas à pastagem.

Profundidades (cm)	<sup>(1)</sup> Cmic	RB	qCO <sub>2</sub>	qMic	MO	Nt	C:N
				50 cm			
0 a 10	<sup>(2)</sup> 456,71	51,2	0,12	1,33	60,96	2,36	14,96
10 a 20	380,03	39,19	0,1	1,6	42,18	1,91	12,78
20 a 30	254,81	18,24	0,07	1,72	26,64	1,51	10,16
				150 cm			
0 a 10	359,43	38,86	0,11	1,16	54,42	2	15,89
10 a 20	331,25	31,42	0,1	1,7	33,75	1,85	10,81
20 a 30	262,42	12,57	0,05	2,49	18,84	1,27	8,61
				250 cm			
0 a 10	374,14	34,01	0,1	1,24	53,85	1,93	16,15
10 a 20	288,51	29,71	0,11	1,37	36,49	1,87	11,37
20 a 30	274,88	10,84	0,04	1,95	25,5	1,56	9,57

<sup>(1)</sup>Unidades das variáveis microbiológicas - (Cmic = (mg C kg<sup>-1</sup>); RB = (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>); qCO<sub>2</sub> = (mg C-CO<sub>2</sub> mg Cmic<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>); qMic = (%); matéria orgânica = (g C kg<sup>-1</sup>); nitrogênio total = (g N kg<sup>-1</sup>) e relação C:N = (%).

<sup>(2)</sup>Médias para as variáveis dentro das distâncias em relação ao caule das macaubeiras (50; 150 e 250 cm) nas profundidades 0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm.

<sup>(3)</sup>As médias para o pasto não foram rodadas no programa estatístico juntamente com as médias das árvores por limitação da amostragem e constam nessa tabela apenas para ilustração.

Os valores obtidos para o Cmic nesse estudo estão dentro da variação relatada por outros autores, em estudos de solos sob florestas em diversas condições

edafoclimáticas (FALL et al., 2012; CUNHA et al., 2012; ALVES et al., 2011; MAO e ZENG, 2010).

A distribuição das chuvas e a umidade do solo são fatores de regulação da biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES et al., 2005) e foi constatado nesse estudo que os atributos microbiológicos e suas relações são mais influenciados pela profundidade do que pelo distanciamento horizontal em relação ao caule das árvores.

Fall et al. (2012) relatam que a redução na biomassa microbiana do solo em relação à profundidade e à distância do caule pode ser atribuída à quantidade de nutrientes como carbono e nitrogênio, e esse comportamento microbiano pode estar relacionado com a biomassa radicular. A diversidade e o número de microrganismos na rizosfera são determinados pela composição e concentração de exsudados radiculares excretados pelas plantas, pois são fonte de nutrientes para os microrganismos (MARSCHNER et al., 2004).

Quando se estuda a comunidade microbiana em solos de mata ou vegetação nativa, já se espera encontrar valores relativamente maiores quando comparados a solos com outros tipos de cobertura como os solos cultivados, já que essa microbiota é favorecida pela cobertura vegetal que propicia maior acúmulo de material orgânico, fornecendo maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana (ALVES et al., 2011). Entretanto, mesmo no cerrado nativo, onde provavelmente existia maior estabilidade na dinâmica de carbono no solo, ou seja, equilíbrio entre a entrada e a decomposição de liteira, Simões et al. (2010) encontraram maiores valores de  $C_{mic}$  e  $q_{mic}$  em Latossolo Amarelo, em Roraima, sob cobertura de *Acacia mangium* em relação ao cerrado nativo. Os autores justificam que houve uma ativação da biomassa microbiana decorrente do fornecimento de substrato de melhor qualidade nutricional proporcionado pela deposição de liteira das plantas de acácia (SIMÕES et al. 2010). Entretanto, Cunha et al. (2012) relatam que o maior valor de  $C_{mic}$  em mata é reflexo de uma situação particular para a microbiota do solo nesse sistema, que é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, originados da vegetação.

Para todas as distâncias de coleta verificou-se que  $C_{mic}$  reduziu conforme a profundidade de coleta. A 50 cm de distância do caule houve redução de 44% comparando-se a camada de 0 a 10 cm com a de 20 a 30 cm. Para a coleta no pasto verificou-se que a camada de 20 a 30 cm apresentou o maior valor médio para o  $C_{mic}$  (380 mg C kg<sup>-1</sup>).

Lourente et al. (2011) observaram, que os teores de Cmic foram significativamente maiores no verão (71 %, em média) para os sistemas de uso do solo estudados: vegetação nativa, pastagem, semeadura direta, reflorestamento e sistema convencional. Piao et al. (2000), justificam que durante a estação seca, parte da biomassa microbiana morre e, com a retomada das chuvas e incremento da umidade do solo, a biomassa sobrevivente utiliza matéria orgânica acumulada no período, incluindo as células mortas, promovendo maior atividade microbiana durante o período chuvoso. O efeito da temperatura também deve ser considerado, porque no verão, a elevação da temperatura e a maior precipitação pluviométrica favorecem o aumento da biomassa microbiana do solo (ESPÍNDOLA et al., 2001).

A atividade metabólica da biomassa microbiana, expressa pela respiração basal (oxidação da matéria orgânica por microrganismos aeróbios do solo) e a eficiência metabólica representada pelo quociente metabólico (quantidade de carbono oxidado por grama de carbono da biomassa microbiana por certo tempo) variaram nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo adotados nos estudos de Silva et al. (2010). Os autores reportaram que ocorre uma maior atividade da microbiota, possivelmente estimulada pela constante deposição de substratos orgânicos e grande quantidade de raízes.

Lourente et al. (2011) relatam que o aumento da taxa de respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) indica que a biomassa microbiana estaria atuando na decomposição da matéria orgânica do solo, com imobilização de nutrientes em sua biomassa e liberação de partes destes constituintes para a solução do solo.

Silva et al. (2010), concluíram que a RB, embora tenha evidenciado maior atividade da biomassa microbiana no cerrado nativo, não foi um indicador eficiente para refletir o efeito dos diferentes sistemas de manejo no solo. Neves et al. (2009) não verificaram diferenças significativas entre os sistemas avaliados e o cerrado nativo para a respiração basal e quociente metabólico. Hungria et al. (2009); Meriles et al. (2009) e Frazão et al. (2010) reportaram uma tendência de maior atividade respiratória da biomassa microbiana nos sistemas com menor intensidade de manejo do solo.

O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) expressa a energia necessária para a manutenção da atividade metabólica em relação à energia necessária para a síntese da própria biomassa, sendo considerado um índice metabólico para avaliar o efeito de condições de estresse sobre a atividade microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1993; GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Sabe-se que, em termos gerais, 2/3 do C decomposto é liberado como CO<sub>2</sub>, enquanto 1/3 é incorporado no tecido microbiano (PAUL, 2007). Entretanto, a diminuição do quociente metabólico sugere a ocorrência de uma comunidade microbiana mais eficiente na utilização de compostos orgânicos, liberando menos C na forma de CO<sub>2</sub> e incorporando mais C nos tecidos microbianos. Assim, alto qCO<sub>2</sub> poderia estar associado a uma condição de estresse no ambiente, enquanto que baixo qCO<sub>2</sub> pode refletir um ambiente mais estável. A diminuição nesse quociente pode ter implicações práticas na agricultura, pois se menos C é respirado, uma menor quantidade de C é liberada do solo, podendo ocorrer acúmulo de C no solo (BALOTA et al., 2004).

Os sistemas que promovam menores qCO<sub>2</sub> devem ser estimulados, pois nesses sistemas a biomassa microbiana está em equilíbrio, com menores perdas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pela respiração, e, com isso, maior é a incorporação de C à biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES, 2008).

A matéria orgânica do solo (MO) é constituída por C, H, O, N, S e P, sendo que o carbono (C) compreende cerca de 58 % da MOS (STEVENSON; COLE, 1999), portanto fatores que influenciam os teores de C no solo são compatíveis para verificar mudanças no comportamento da matéria orgânica. Sendo assim, autores como Cunha et al. 2012; Pôrto et al. (2009); Jakelaitis et al.(2008) e Albuquerque et al. (2005) verificaram que o carbono orgânico do solo sob mata é maior do que sob outras coberturas, provavelmente pelo aporte de resíduos orgânicos, não revolvimento do solo e reduzida erosão hídrica pela maior cobertura do solo pela liteira. Nesse estudo, o maior teor de matéria orgânica no solo foi 60,96 g kg<sup>-1</sup> a 50 cm de distância do caule (Tabela 2).

No geral, conforme se distancia do caule de macaubeiras e nas camadas mais profundas ocorre a redução no teor de matéria orgânica em todos os sistemas observados. Diniz et al. (2010a) verificaram que houve influência do distanciamento da base do caule, em macaubeiras nativas, no comportamento da MO para as camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm. Em geral, houve uma redução no teor de matéria orgânica, conforme ocorreu o distanciamento do caule e o teor de MO foi menor na camada subsuperficial. Esses resultados, provavelmente, ocorreram devido ao maior aporte de substrato orgânico na região mais próxima do caule das palmeiras (Tabela 1 e 2).

A relação C:N é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo e fornece informação sobre os nutrientes essenciais para a atividade dos microrganismos do solo (SANTOS, 2007). Os resultados apresentados nesse estudo são



compatíveis com a relação C:N (10 a 15/1) apresentada por Stevenson (1994) em estudos de solos tropicais não revolvidos. Nesse estudo foi observado efeito da profundidade para este indicador (Tabela 1 e 2).

Santos (2007) em estudo de tipologias em Gleissolo, quando comparado ao Cambissolo relata que a média da relação C:N na camada 0 a 5 cm foi 14,08 e justifica que as médias mais altas de relação C:N em todas as tipologias se deve ao regime de saturação hídrica do solo, determinando um ambiente redutor pela falta ou escassez de oxigênio. Os maiores valores da relação C:N em Gleissolo parece estar associado ao aspecto hidromórfico do solo que dificultaria a degradação do carbono e também pela presença constante do lençol freático no perfil do solo, que facilitaria as perdas de N por lixiviação.

Diniz et al. (2010b), em estudos sobre o efeito da distância da base do caule na relação entre o carbono orgânico e nitrogênio total, em um solo sob macaubeiras nativas verificaram que a relação C:N sofre influência espacial em relação ao distanciamento da base do caule. Em geral, houve uma redução na relação entre o carbono orgânico e nitrogênio total do solo (C:N), conforme ocorreu o distanciamento em relação à base do caule das árvores estudadas. A relação entre o carbono orgânico e nitrogênio total do solo foi menor na camada subsuperficial.

Para os atributos Cmic; NT e qMic, comparando-se as profundidades dentro de cada distância verificou-se que houve efeito do contraste (0 a 10 vs 20 a 30) em todas as distâncias (50; 150 e 250) cm (Tabela 3).

Na camada 0 a 10 cm, os contrastes 50 vs 150 e 50 vs 250 foi significativo para o Cmic e NT (Tabela 4).

Os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4 corroboram com estudos de Tótola e Chaer (2002), que recomendam o qMic para avaliação da qualidade da matéria orgânica do solo.

O qMic não sofreu influência das distâncias dentro das camadas 0 a 10 e 10 a 20 cm (Tabela 4).

O quociente microbiano (qMic), em condições normais, varia de 1 a 4 % e valores inferiores a 1 % podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (JAKELAITIS et al. 2008). Tem sido sugerido que em torno de 2,2 % expressaria um equilíbrio no solo (JENKINSON; LADD, 1981).

A relação Cmic:Corg reflete quanto do C orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana e mostra o potencial de reserva desse elemento no solo (CARNEIRO et al., 2009).

O quociente microbiano representa o acúmulo de carbono nos microrganismos sem alterações no estoque de carbono do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 1997). Silva et al. (2010) afirmam que a baixa disponibilidade ou qualidade do substrato orgânico também ocasionam baixos valores de qMic.

TABELA 3. Comparação das diferenças entre profundidade dentro das distâncias horizontais na interação para o Carbono Microbiano, Nitrogênio Total e Quociente microbiano.

	Cmic		
	<sup>(1)</sup> (0 a 10 – 10 a 20)	(0 a 10 – 20 a 30)	(10 a 20 – 20-30)
50	76,67*	201,90****	125,22****
150	28,17ns	97,01**	68,84*
250	85,63**	99,25**	13,62ns
	NT		
	(0 a 10 – 10 a 20)	(0 a 10 – 20 a 30)	(10 a 20 – 20-30)
50	0,44****	0,848****	0,406****
150	0,152ns	0,734****	0,582****
250	0,057ns	0,375****	0,318****
	qMic		
	(0 a 10 – 10 a 20)	(0 a 10 – 20 a 30)	(10 a 20 – 20-30)
50	(-0,277)ns	(-0,396)*	(-0,119)ns
150	(-0,538)**	(-1,33)****	(-0,795)***
250	(-0,127)ns	(-0,707)***	(-0,58)**

<sup>(1)</sup>Diferenças entre as duas médias a cada profundidade dentro das distâncias em relação ao caule das macaubeiras (50; 150 e 250 cm).

Valores seguidos por: (\*\*\*\*), (\*\*\*), (\*\*), e (\*) mostraram efeitos, significativos para a diferença entre duas médias, a 0,01 ( $p < 0,0001$ ); 0,1 ( $p < 0,001$ ); 1 ( $p < 0,01$ ); e a 5 % ( $p < 0,05$ ), respectivamente; e (ns) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade para o teste t.

Nesse estudo, os teores de nitrogênio no solo foram menores que o teor médio de nitrogênio ( $3,8 \text{ g kg}^{-1}$ ) relatado em Gleissolo estudado por Santos (2007). O nitrogênio total do solo altera-se mais em função da profundidade que da distância em mata de macaubeiras no Cerrado. No geral, para a camada de 0 a 10 cm houve redução gradativa do teor de nitrogênio em relação ao distanciamento do caule e nas camadas mais profundas o nitrogênio não sofreu alteração significativa com o distanciamento do caule (Tabela 1, 2, 3 e 4).

Gama-Rodrigues et al. (2005) sugeriram que a influência das condições ambientais na atividade microbiana e no Nmic e Cmic foi maior do que para os valores totais de N e C, aparentemente mais estáticos ao longo do ano nos ambientes estudados

TABELA 4. Comparação das diferenças entre as distâncias dentro de três profundidades na interação para o Carbono Microbiano, Nitrogênio Total e Quociente microbiano.

	Cmic		
	<sup>(1)</sup> (50 – 150)	(50-250)	(150-250)
0 a 10	97,28**	82,57**	(-14,70)ns
10 a 20	48,78ns	91,52**	42,74ns
20 a 30	(-7,60)ns	(-20,06)ns	(-12,46)ns
	NT		
	(50-150)	(50-250)	(150-250)
0 a 10	0,35**	0,42**	0,07ns
10 a 20	0,066ns	0,041ns	(-0,025)ns
20 a 30	0,242*	(-0,047)ns	(-0,289)ns
	qMic		
	(50-150)	(50-250)	(150-250)
0 a 10	0,168ns	0,082ns	(-0,086)ns
10 a 20	(-0,093)ns	0,232ns	0,325ns
20 a 30	(-0,7690***	9-0,299)ns	0,54**

<sup>(1)</sup>Diferenças entre as duas médias a cada distância em relação ao caule das macaubeiras dentro das profundidades 0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Valores seguidos por: (\*\*\*\*), (\*\*\*), (\*\*), e (\*) mostraram efeitos, significativos para a diferença entre duas médias, a 0,01 ( $p<0,0001$ ); 0,1 ( $p<0,001$ ); 1 ( $p<0,01$ ); e a 5 % ( $p<0,05$ ), respectivamente; e (ns) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade para o teste t.

## 6. CONCLUSÕES

1. O Cmic, RB, qCO<sub>2</sub> e a MO variam conforme se distancia do estipe de macaubeiras no Cerrado.
2. O qMic, o NT e a relação C:N não sofrem efeito variação horizontal em relação ao estipe das macaubeiras.
3. Os atributos avaliados tendem a reduzir seus valores no perfil do solo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. do P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.415-424, 2005.

ALEF, K.; NANNIPIERI, **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**, London: Academic Press, 1995. 576 p.

ALVES, T. dos S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, n.2, p.341-347, 2011.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.25, n.3, p.393-395, 1993.

ASHAGRIE, Y.; ZECH, W.; GUGGENBERGER, G.; MAMO, T. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil and tillage research**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 101-108. 2007.

BALOTA, E. L.; COLLOZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil tillage research**, v.77, p.137-145, 2004.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: **Methods of soil analysis**. 2ed. American Society of Agronomy. Madison, USA. Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Agronomy Monograph n.9, p.591-641, 1982.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S. AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.147-157, 2009.

CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

DINIZ, L. T.; RAMOS, M. L. G.; MELO, A. A.; LIMA, L. C.; SILVA, D. E.; COIMBRA, K. das G.; ALENCAR, C. M. Comportamento da matéria orgânica em relação à distância da base do caule em um gleissolo sob macaubeiras nativas associadas à pastagem, no cerrado goiano. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2010, Natal. **Anais...** Centro Convenções Natal – RN. 2010a. CD-ROM.

DINIZ, L. T.; RAMOS, M. L. G.; MELO, A. A.; LIMA, L. C.; SILVA, D. E.; ALENCAR, C. M. Efeito da distância da base do caule na relação entre o carbono orgânico e nitrogênio total, em um solo sob macaubeiras nativas associadas à pastagem, no cerrado goiano. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2010, Natal. **Anais...** Centro Convenções Natal – RN. 2010b. CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro - CNPS, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ed. Rio de Janeiro-CNPS, 1997. 212p.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, de D. L.; A. de. J.A.A.; GUERRA, J. G. M.; SILVA, da E. M. R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.104-113, 2001.

FALL, D.; DIOUF, D.; ZOUBEIROU, A. M.; BAKHOUM, N.; FAYE, A.; SALL, S. N. Effect of distance and depth on microbial biomass and mineral nitrogen content under *Acacia Senegal* (L.) Willd. Trees. **Journal of environmental management**, v. 95, p. S260-S264, 2012.

FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy Brazilian Cerrado, soil under different land uses. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.135, p. 161-167, 2010.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de; Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 361-365, 1997.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES A. C.; SANTOS, G. A. S. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.6, p. 893-901, 2005.

GAMA-RODRIGUES, S. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS G. A. & CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro, **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 32, p. 1521-1530, 2008.

HARRIS, J.A. Measurements of the microbial community for estimating the success of restoration. **Eur. J. Soil Sci.**, Oxford, v.54, n.4, p801-808, 2003.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO JÚNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long term experiment with threes soil tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil and Ecology**, v.42, p.288-296, 2009.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. da; SANTOS, A. A. dos, VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.2, p.118-127, 2008.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. **Microbial biomass in soil: measurement and turnover**. In: PAUL, E. A. & LADD, J. N. (ed.). Soil Biochemistry, New York: Marcel Dekker, 1981. P.415-471.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, S. F.; GASPARINE, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia**, v.41, n.1, p.20-28, 2011.

MAO, R.; ZENG, D. H. Changes in soil particulate organic matter, microbial biomass, and activity following afforestation of marginal agricultural lands in a semi-arid area of northeast China. **Environmental management**, v. 46, p. 110-116, 2010.

MARISOLA FILHO, L. A. Cultivo e processamento de coco macaúba para a produção de biodiesel. Viçosa – MG, **Centro de Produções Técnicas – CPT**, 2009. 333p.

MARSCHNER, P.; CROWLEY, D. E.; YANG, C. H. Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type. **Plant and soil**, v. 261, p. 199-208.

MERILES, J. M.; VARGAS G., S.; CONFORTO, C.; FIGONI, G.; LOVERA, E.; MARCH, G. J.; GUZMA'N, C. A. Soil microbial communities under different soybean cropping systems: Characterization of microbial population dynamics, soil microbial activity, microbial biomass and fatty acid profiles. **Soil and Tillage Research**, v.103, p.271-281, 2009.

MOREIRA, F. M de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. Ed. Atual. E ampl. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. de S., D'ANDRÉA, A. F. Indicadores Biológicos da Qualidade do Solo em Sistemas Agrossilvopastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n1, p.105-112, 2009.

PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology, and biochemistry**. Academic Press, Burlington, 3 ed. 532p. 2007

PIÃO, H. C.; HONG, Y. T.; YUAN, Z. Y. Seasonal changes of microbial biomass carbon related to climatic factors in soil from Karst areas of southwest China. **Biology and fertility of soils**, Berlin, v.30, n.4, p.294-297, 2000.

PÔRTO, M. L.; ALVES, J. do C.; DINIZ, A. A.; SOUZA, A. P de; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.4, p.1011-1017, 2009.

REIN, T. A.; DUXBURY, J. M. Modeling the soil organic carbon, texture and mineralogy relations in the profile of oxisols from the Brazilian Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO E II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 9., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. CD ROM.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; FIGUEIREDO, C. C. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Eds). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p.417-473.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, Everaldo dos. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em gleissolo e cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina – PR**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SAS Institute, **User's guide**. Versão 9.1.3, versão para Windows. Cary, NC, USA, 2008.

SILVA, R. R. da, SILVA, M. L. N., CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. de S., CURI, N., ALOVISI, A. M. T. Biomassa e Atividade Microbiana em Solo sob Diferentes Sistemas de Manejo na Região Fisiográfica Campo das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.5, p.1585-1592, 2010.

SIMÕES, S. M. O.; ZILLI, J. E.; COSTA, M. C. G.; TONINI, H.; BALIEIRO, F. de C. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acacia mangium* no Cerrado de Roraima. **Acta Amazonica**. v.40, n.1, p.23-30, 2010.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S.; GRISI, B. M.; ARAÚJO, R. S. **microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília, DF: EMBRAPA - SPI, 1994. 142p.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**. Victoria, v.30, n.2, p.195-207, 1992.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2 ed. New York: J. Wiley, 1999. 427p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: Wiley, 1994.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (ED.). **Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo**, v.2, p. 195-276, 2002.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C. JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford, v.19, n.6, p. 703-707, 1987.